研究報告

不同農耕生態系之雜草相差異
—雙期作水田及水旱田輪作之比較

蕭巧玲[1]、楊純明[1]*、何佳勳[1]、李裕娟[2]、吳泓書[3]

[1]行政院農業委員會農業試驗所作物組

[2]行政院農業委員會農業試驗所農場組

[3]行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所

摘要

農作的耕種制度及管理方式，不僅影響田間作物的生育，亦會改變雜草發生的數量與種類。為期瞭解雙期作水田農耕生態系(paddy-paddy agro-ecosystem; PP)及一期作水稻、二期作落花生水旱田輪作農耕生態系(paddy-upland rotation agro-ecosystem; PU)等的雜草相變化及其差異，本研究於行政院農業委員會農業試驗所溪口農場之長期農業生態系研究(Long-term Agricultural Ecological Research; LTER)試驗場址進行調查。該兩種生態系內分別包括慣行農耕(conventional cropping system; CC)及低投施農耕(low-input cropping system; LC)兩種處理系統，合計探討及分析四種農耕生態系組合(即 PP-CC、PP-LC、PU-CC 及 PU-LC)對雜草發生之影響。結果顯示四種農耕生態系中一期作所發生的雜草科別數及種別數，均少於二期作；PP-CC、PP-LC、PU-CC 及 PU-LC 四種農耕生態系的田區雜草密度於一期作之平均依序為 1.8、4.4、9.9 及 3.3 pl m^{-2}，二期作為 29.1、24.6、5.9、9.8 pl m^{-2}。雜草生質量大致呈現二期作高於一期作，且 PU 農耕生態系大於 PP 農耕生態系、CC 處理高於 LC 處理之趨勢。PP 生態系在一期作以千屈菜科(Lythraceae)雜草所占密度最高，高達 85%，二期作則以玄參科(Scrophulariaceae)雜草發生頻率最高，PP-CC 及 PP-LC 分別為 47%及 39%。PU 生態系在一期作水田環境下的 PU-CC 系統，以菊科(Compositae)雜草最多(35%)，在二期作的旱作(落花生)環境下，無論 PU-CC 或 PU-LC 皆以菊科雜草分佈最多，分別為 73% 及 53%。以個別雜草物種而言，PP-CC 及 PP-LC 在一期作皆以水莧菜之密度最高，其次依序為芒稷(*Echinochloa colona*)、母草(*Lindernia procumbens*)、多花水莧(*Ammannia multiflora*)、滿天星(*Alternanthera sessilis*)及其他種類，二期作則以母草最多(125.6 pl m^{-2})。PU-CC 及 PU-LC 在一期作以霍香薊(*Ageratum conyzoides*)及香附子(*Cyperus rothundus*)發生較多，二期作主要為旱生型雜草種類，尤以霍香薊及鱧腸(*Eclipta prostrata*)為優勢雜草，分別為 34.9 及 36.4 pl m^{-2}。另水莧菜(*Ammannia baccifera*)、母草、泥花草(*Lindernia antipoda*)、霍香薊、鱧腸、香附子等雜草可全年分布並散見於水田或水旱田輪作試驗田區中，惟除了香附子為多年生雜草外，其餘雜草群落組成皆為一年生闊葉雜草。

關鍵詞：長期農業生態系、雙期作水田農耕生態系、水旱田輪作農耕生態系、慣行農耕、低投施農耕、雜草相。

---

* 通信作者, cmyang@tari.gov.tw

投稿日期：2012 年 3 月 7 日

接受日期：2012 年 3 月 21 日

作物、環境與生物資訊 9:26-40 (2012)

Crop, Environment & Bioinformatics 9:26-40 (2012)

189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung 41362, Taiwan ROC

Differences in Weed Population and Density in Varying Cropping Systems: Comparisons between Paddy-paddy and Paddy-upland Rotation Agro-ecosystems

Chiao-Ling Hsiao[1], Chewn-Ming Yang[1]*, Chia-Hsun Ho[1], Yuh-Jyuan Lee[2] and Hong-Shu Wu[3]

[1] Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung 41362, Taiwan ROC

[2] Farm Management Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung 41362, Taiwan ROC

[3] Chiayi Agricultural Experiment Station, Taiwan Agricultural Research Institute, Sikou, Chiayi 60044, Taiwan ROC

ABSTRACT

The growing style and field type of a cropping system affect not only performance of a crop but infestation of weed populations, including their emergence, propagation and prevalence. This field experiment was conducted to study differences in weed population and density between paddy-paddy (PP) and paddy-upland rotation (PU) agro-ecosystems set up as Long-term Agricultural Ecological Research (LTER) trial. Each agro-ecosystem was further divided into conventional (CC) and low-input (LC) treatments, making up 4 different agro-ecosystems for the trial, namely, PP-CC, PP-LC, PU-CC and PU-LC. Results showed that numbers of weed family and weed species were higher in the growing season of first-half year than those in the second-half in all trial fields. The average weed densities of PP-CC, PP-LC, PU-CC and PU-LC were 1.8, 4.4, 9.9 and 3.3 pl m^{-2} in First Crop, and were 29.1, 24.6, 5.9 and 9.8 pl m^{-2} in Second Crop, respectively. Likewise, generally weed biomass was higher in the second cropping season than in the first cropping season, in PU agro-system than in PP agro-ecosystem, and in CC treatment than in LC treatment. In the PP agro-ecosystem, weeds of family Lythraceae had the highest density (nearly 85%) in the first crop, but weeds of Scrophulariaceae were the highest in the second crop, 47% in PP-CC and 39% in PP-LC. In the PU agro-ecosystem, weeds of the Compositae reached 35% in PU-CC in the first crop, and about 73% in PU-CC and 53% in PU-LC in the second crop. Plants of *Ammannia baccifera* was the most predominant weed species found in both PP-CC and PP-LC in the first crop season, followed by *Echinochloa colona*, *Lindernia procumbens*, *Ammannia multiflora*, and *Alternanthera sessilis*,; whereas, *Lindernia procumbens* (125.6 plant m^{-2}) was prevalent in the second crop season. Plants of *Ageratum conyzoides* and *Cyperus rotundus* were superior weed species in both PU-CC and PU-LC in the first-half, while upland weed species were the majority in the second-half, especially *Ageratum conyzoides* (34.9 pl m^{-2}) and *Eclipta prostrate* (36.4 pl m^{-2}). Plants of weed species *Ammannia baccifera*, *Lindernia procumbens*, *Ageratum conyzoides*, *Eclipta prostrate*, *Cyperus rotundus* and *Lindernia antipoda* appeared all year round in the experimental fields. Except *Cyperus rotundus* is a perennial narrow-leaf weed, others are annual broad-leaf weeds.

Key words: Long-term agricultural ecological system, Paddy-paddy agro-ecosystem, Paddy-upland rotation agro-ecosystem, Conventional cropping system, Low-input cropping system, Weed population and density.

前言

以農作生產的角度來看，雜草會與農作物競爭田間生長所需的資源，常被農作栽培者視為除之而後快的威脅因子(Zimdahl 2004)。而從生態觀點而言，雜草不但是農業生態系的一員，更扮演生物多樣性與維持生態平衡的要件之一。若以不容許其存在的錯誤觀念視之，甚至追求將其滅絕，非但將破壞大自然的平衡、毀損多樣化的生態系統，更將衍生出許多無法挽回的惡果。固然農作生產必須適當的控制田間的雜草，惟應以科學的評估及合理管理的方法為之，尤應肯定並維護雜草在生物圈與非生物圈的存在價值和必要性，才能在維持糧食生產和永續生態環境雙重考量及需求下獲得雙贏局面(Yang 1996, Zimdahl 2004)。

雜草族群的消長，係田區內耕作歷史、前作管理、周遭環境及農耕操作的變化所呈現的動態分布，也因此影響農田雜草族群的密度與種類(Tungate *et al.* 2007, Moody 1996)。透過不同農耕體系或制度的操作來分析雜草族群的消長與分布，再依照群落集合理論(community assembly theory)的架構，檢視農田內包括耕犁、作物栽植時間、雜草管理及施肥作業等的連續或非連續措施，將可重新組合雜草群落，並解釋雜草群落的形成原因。換言之，藉由生物及非生物的「農耕經營管理的過濾程序(management-related filters)」，將可影響雜草種類的變化並決定農田特定組成的雜草群落。而從觀察或調查雜草生活史、出土週期性、種子大小及對土壤施肥的反應等作為，則可顯示出雜草群落透過前述過濾程序所建構出的群落特性(Ryan *et al.* 2010, Mortimer 1990)。由此可見，農田的經營管理措施將牽動農田內雜草相的變化及變遷，造成原因相當的複雜而多樣。因此，在不同農耕體系或制度下的經營管理措施，不僅必須考慮對作物的效應，亦應關注對當時雜草相的影響。舉例來說，未經耕作與曾經耕作的水稻田必然有不同組成的雜草群落，有學者認為雜草相的改變並非作物耕種的次數增加所造成，而係整地或水分管理不同引起(Kent *et al.* 2001, Chiang and Leu 1982)；又如亞洲某些地區當以直播方式種植時，可使水稻田中的芒稷(*Echinochloa colona*)、千金子(*Leptochloa chinensis*)等一年生禾本科雜草成為優勢草種，取代移植稻田經常出現的鴨舌草(*Monochoria vaginalis*)、細葉水丁香(*Ludwigia hyssopifolia*)等闊葉草(Ho and Itoh 1991)。因此，對於不同的農耕生態系及農耕操作，應當長期調查農田的雜草相，以施予合適的雜草管理措施並避免生態環境的劣化。

農耕系統(如水田、旱田、水田連作、水旱田輪作等)的不同，由於耕犁程度上的差異，將會影響雜草組成及種子密度的變化。雖然在有利的一面，種植前的耕犁整地可以打破土壤硬層，整地後較為疏鬆與平坦的土壤有利於播種，並可幫助作物根系生長及充分利用土壤深層的養分與水分。但是，耕犁亦將會翻動雜草種子在土壤中的分布及未來幼苗萌芽的匯集區(recruitment zone)，依序也將影響雜草幼苗出土的週期性，以及農田雜草的豐富度(Cousens and moss 1990)。此外，土壤經過翻耕後會將表層的雜草種子掩埋，並將深層雜草種子翻出土表，因而出現不同的雜草種類。在加拿大安大略省所進行的 9 年草相調查結果，即發現整地栽培出現了 23 種雜草，尤以小葉灰藋(*Chenopodium album*)、反枝莧(*Amaranthus retroflexus*)等一年生闊葉類雜草分布較多，多年生雜草則減少；而經常性的耕犁則會使得土壤深層與表層的雜草種子頻繁的層疊出現，容易形成一年生莧屬或藜屬的雜草族群分布(Ball and Miller 1993)。耕犁時機具與土壤之間的摩擦，能夠劃破雜草種子的種皮而刺激種子發芽，是造成機械耕犁後會有較多雜草的原因。不同的耕犁器具會改變雜草種子在土壤剖面的分布(Dyer 1995)，如切碎土壤的迴轉犁易使雜草種子集中於土壤表層，促進早熟禾(*Poa annua*)密度的明顯增加(Kuo 2004)，深耕的板犁可將雜草種子埋入土壤深層而不易發芽，因此降低雜草的族群數目(Dyer 1995)。所以，採用不同的耕犁機具及進行不等的耕犁次數，將會牽動土壤雜草種子庫的組成及雜草族群的發生，可以應用於適當的設計來減少雜草發生。

輪作是一種普遍被農民使用的耕作制度/農耕系統，亦被認為有利於作物生產的耕作方式。有系統的輪作，可使土壤養分更為經濟有效的利用，前作殘留物耕犁入土後，除了增加有機質，也調節土壤養分、改善土壤理化性質及抑制雜草生長，並減少除草劑的施用(Francis *et al.* 1989, Cheng 1997)。Cheng (1997)的研究指出，水稻田經過 7 年

輪作處理後，原來雙期作水田經過旱作的輪作而改善土壤理化性及雜草相。經過多年不同作物輪作後的水田，當恢復水稻種植之後，田區的尖葉雜草(如禾草及莎草)增加而闊葉雜草則明顯減少，顯示輪作所進行之栽培管理可利用於雜草的管理，其效果則視作物種植的前後順序、作物種類及田間除草劑選用類型等狀況而定(Francis *et al.* 1989)。Lègére *et al.* (2008)進行 12 年的玉米-大豆輪作系統研究，發現不耕犁組所調查的雜草種類歧異度高於慣行耕犁組，亦大於不同氮肥施用對雜草豐富度帶來的效應。而且，在輪作玉米時發現 15 種雜草種類，輪作大豆時則有 20 種雜草種類，其中鐵莧屬(Acalypha)等 8 種雜草未見於玉米田區，顯見雜草種類的分布會因為不同的輪作作物對應之栽培管理或除草劑的施用類型而異(Lègére *et al.* 2008)。因此，適當輪作系統不僅可減少雜草對不同輪作作物的適應性，也能降低雜草種子再次循環投入土壤種子庫之中(Liebman and Dyck 1993, Smith and Gross 2006)。另一項長達 25 年輪作的試驗調查發現，有機農耕系統相較於慣行農耕系統具有較豐富的雜草相，作者並認為維持多樣的雜草相不利於雜草管理(Ryan *et al.* 2010)，因為農田發生的雜草具有群體與社會結構，雖然成功防除其中某幾種雜草，新起優勢的其他雜草卻成為新的問題雜草(Booth and Swanton 2002, VanGessel 2001)。

除草劑的使用也是引起雜草相消長的因子之一。基於除草劑研發技術不斷演進與方便使用，無論係萌前或萌後除草劑，其防除雜草種類範圍廣及土壤殘效期久等特性，常使許多一年生雜草大幅減少，多年生雜草相對變動較少，部分除草劑因在土壤中的半衰期長，恐有引起藥害疑慮，非為現代的需求。惟近年來發現，臺灣早期水田常見的野茨菰(*Sagittaria trifolia*)及瓜皮草(*Sagittaria pygmea*)等多年生水田雜草，已較少出現於稻田中(Hong 1976, Sheu *et al.* 2005），其原因有待釐清。又 Chiang and Chiang (2006)在 1981-2002 年進行的調查顯示，常年除草劑使用後以水莧菜(*Ammannia baccifera*)、多花水莧(*Ammannia multiflora*)、泥花草(*Lindernia antipoda*)、碎米莎草(*Cyperus iria)*等雜草的發生頻率較高，滿天星(*Alternanthera sessilis*)、稗草(*Echinochloa crus-galli*)、鴨舌草(*Monochoria vaginalis*)、鱧腸(*Eclipta prostrata*)、牛毛氈(*Eleocharis acicularis*)、螢藺(*Schienoplactus juncoises*）、田字草(*Marselia quadrifolia*)等雜草卻大幅減少。可知經過長期除草劑篩選壓力，將導致農田雜草相改變，並使得較難防除的耐性雜草隨之而來(Liu 2002)，成為農田另一項棘手問題。截至目前全球至少已有 174 種抗性雜草被發現，其中發生在臺灣的有抗巴拉刈的臺灣野塘蒿(*Erigeron sumatrensis*)、耐嘉磷塞的華九頭獅子草(*Dicliptera chinensis*)及抗嘉磷塞的牛筋草(*Eleusine indica*)等(Yuan *et al.* 2005, Chiang and Chiang 2006)。這些抗性雜草的陸續發現，使得除草劑的合理使用成為受到重視的議題，咸認為必須以兼顧生態保育的綜合管理策略來研擬未來的雜草管理方法，否則雜草將成為農作生產的最大隱憂。

綜合上述，農耕的諸種操作措施將對農耕生態系造成深遠影響，所涉及的層面十分廣泛，頗值得吾人的重視和因應。對於週期循環變化的雜草而言，可能直接或間接影響雜草種類與及密度的發展，而對於農田的經營管理層面，則將牽動作物與雜草之間的競爭關係，並進而改變整個農田生物多樣性的維護。有鑑於此，本研究特別針對農業長期生態系試驗所設立的 2 大農耕生態系統的雜草相進行深入探討，第一階段在於瞭解雙期作水田農耕生態系及一期作水稻、二期作落花生水旱輪作農耕生態系的雜草相變化及其差異。未來將持續追蹤不同農耕處理(操作)的生態系下雜草相的長期變遷，期能提供評估建議予不同農耕生態系下雜草管理的參考，並助益於農耕系統的永續經營發展。

材料與方法

本試驗於行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所溪口農場之農業長期生態系試驗場址進行，該試區分為雙期作水田農耕生態系(paddy-paddy agro-ecosystem; PP)及一期作水稻、二期作落花生之水旱輪作農耕生態系(paddy-upland rotation agro-ecosystem; PU)兩大類農耕生態系，各生態系又劃分為慣行農耕(conventional cropping system; CC)及低投施農耕(low-input cropping system; LC)兩種耕作處理，合計 PP-CC、PP-LC、PU-CC 及 PU-LC 四種農耕生態系(或稱農耕系統)組合。其中，PU 生態系有 3 重複，每重複小區面積為 0.6～0.8 ha， PP 生態系則為 4 重複，每重複小區面積自 0.4～0.8 ha (Fig 1)。本試驗區屬非石灰性砂頁岩沖積土之座駕系(Tsochia Series)土壤，土壤為偏中性(pH6-7.5)之坋質粘壤土(Chen *et al.* 2009)。

本試驗的 2010 年栽培操作歷程如 Table 1，係參與農業長期生態系試驗的第一年，列有耕犁(tillage)、種植(planting)、施肥(fertilization)、噴藥(herbicide spraying)及收穫(harvest)等主要履歷。兩大類農耕生態系在上半年的一期作皆栽植水稻，選用臺農 11 號(*Oryza sativa* L. cv. TN 11)；下半年二期作部分，PP 生態系仍栽植水稻，PU 生態系種植旱作落花生(選用臺南 14 號，*Arachis hypogaea cv.* Tainan 14)。肥料施用係以單質肥料硫酸銨[$(NH_4)_2SO_4$]、過磷酸鈣[主要為 $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$，常以 P_2O_5 表示]、氧化鉀(K_2O)來調配氮(nitrogen; N)、磷(phosphorus; P)及鉀(potassium; K)三要素的比例。CC 之肥料用量採用行政院農業委員會所屬試驗改良場所推行之「合理化施肥」推薦量，並依土壤肥力調整施用劑量，LC 則為 CC 部分施用量(Table 2)。PP 及 PU 農耕

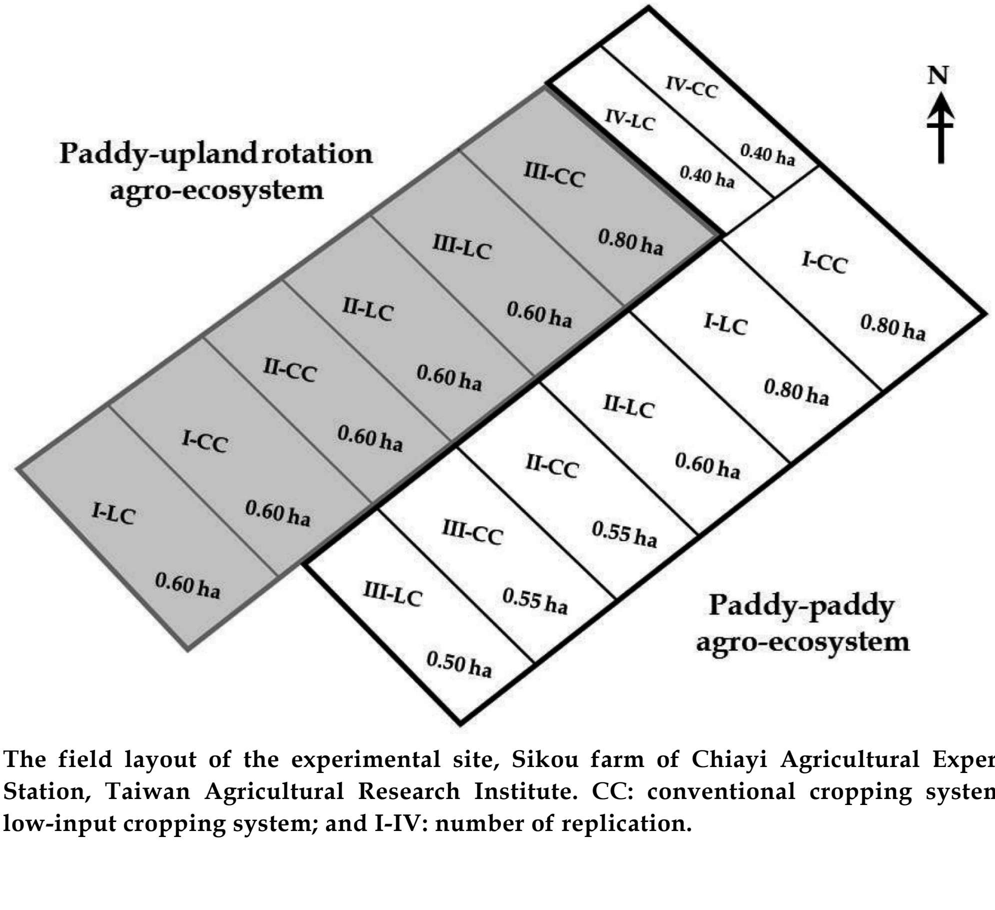

Fig 1. The field layout of the experimental site, Sikou farm of Chiayi Agricultural Experiment Station, Taiwan Agricultural Research Institute. CC: conventional cropping system; LC: low-input cropping system; and I-IV: number of replication.

Table 1. The tracing of cultural practices recorded in the first and the second cropping seasons of 2010.

Practice	Paddy-paddy agro-ecosystem (PP)		Paddy-upland rotation agro-ecosystem (PU)	
	CC[y]	LC	CC	LC
First Crop[z]				
Tillage	01/28/2010	01/28/2010	01/28/2010	01/28/2010
Planting	02/03/2010	02/03/2010	02/03/2010	02/03/2010
Fertilization basal dressing	01/25/2010	01/25/2010	01/25/2010	01/25/2010
1st top dressing	02/24/2010	02/24/2010	02/24/2010	02/24/2010
2nd top dressing	03/09/2010	03/09/2010	03/09/2010	03/09/2010
Last dressing	04/01/2010	04/01/2010	04/01/2010	04/01/2010
Herbicide pre-emergence	01/27/2010	01/27/2010	01/27/2010	01/27/2010
post-emergence	02/24/2010	02/24/2010	02/24/2010	02/24/2010
Harvest	06/23/2010	06/23/2010	06/23/2010	06/23/2010
Second Crop				
Tillage	07/30/2010	07/30/2010	08/17/2010	08/17/2010
Planting	08/04/2010	08/04/2010	08/19/2010	08/19/2010
Fertilization basal dressing	07/22/2010	07/22/2010	08/16/2010	08/16/2010
1st top dressing	08/12/2010	08/12/2010	10/26/2010	10/26/2010
2nd top dressing	08/24/2010	08/24/2010	None	None
Last dressing	09/27/2010	09/27/2010	None	None
Herbicide pre-emergence	07/29/2010	07/29/2010	08/16/2010	08/16/2010
post-emergence-1	08/12/2010	08/12/2010	09/06/2010	09/06/2010
post-emergence-2	None	None	10/15/2010	10/15/2010
Hand-weeding	None	None	10/15/2010	10/15/2010
Harvest	12/05/2010	12/05/2010	12/22/2010	12/22/2010

[z] the crop species planted in both PP and PU agro-ecosystems in First Crop is rice; whereas, it is rice for PP and peanut for PU in Second Crop.

[y] CC: conventional cropping system; LC: low-input cropping system.

Table 2. Summary of field treatments for experiments conducted in the first and the second cropping seasons of 2010.

Practice		Paddy-paddy agro-ecosystem (PP)		Paddy-upland agro-ecosystem (PU)	
		CC[y]	LC	CC	LC
First Crop[z]					
Fertilizers ($kg\ ha^{-1}$) N : P : K[x]		140 : 70 : 85	100 : 30 : 30	140 : 70 : 85	100 : 30 : 30
Herbicides	pre-emergence	32% butachlor	32% butachlor	32% butachlor	32% butachlor
spraying	post-emergence	5.1% benthiocarb+ bensulfuron-methyl	5.1% benthiocarb+ bensulfuron-methyl	5.1% benthiocarb+ bensulfuron-methyl	5.1% benthiocarb+ bensulfuron-methyl
Second Crop					
Fertilizers ($kg\ ha^{-1}$) N : P : K		120 : 60 : 60	80 : 30 : 30	45 : 45 : 50	20 : 15 : 15
Herbicides	per-emergence	32% butachlor	32% butachlor	5.1% alachlor + 34% pendimethalin	5.1% alachlor + 34% pendimethalin
spraying	post-emergence	5.1% benthiocarb + bensulfuron-methyl	5.1% benthiocarb + bensulfuron-methyl	44.1% bentazone + 34% pendimethalin + 5% quizalofop-ethyl	44.1% bentazone + 34% pendimethalin + 5% quizalofop-ethyl

[z] the crop species planted in both PP and PU agro-ecosystems in First Crop is rice; whereas, it is rice for PP and peanut for PU in Second Crop.

[y] CC: conventional cropping system; LC: low-input cropping system.

[x] the input of fertilizers ammonium sulfate [$(NH_4)_2SO_4$], calcium superphosphate [mainly $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$] and potassium oxide (K_2O), demoted as N : P : K, are to ajust the ratio of three macroelements nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K).

生態系的 CC 處理一期作之 3 種單質肥料分別投入 140：70：85 kg ha^{-1}，其中氮肥平均(各為 35 kg ha^{-1})分成基肥、第一次追肥、第二次追肥及穗肥等 4 次施用，全量磷肥 70 kg ha^{-1} 在基肥階段施用，而全量鉀肥 85 kg ha^{-1} 則於第二次追肥時施用；LC 以維持農田永續經營考量設計，肥料施用量依照土壤養分循環及土壤肥力狀態而定，約為 CC 用量的 35~71%不等(Table 2)。PP 農耕生態系的 CC 與 LC 處理二期作之 3 種單質肥料分別投入 120 : 60 : 60 kg ha^{-1} 與 80 : 30 : 30 kg ha^{-1}，而 PU 生態系的 CC 與 LC 處理之 3 種單質肥分別投入 45: 45 : 40 kg ha^{-1} 與 20 : 15 : 15 kg ha^{-1} (Table 2)。

本試驗的雜草管理在 4 個農耕生態系均相同操作原則，以觀察與比較「輪作」及「施肥量」造成的農耕生態系雜草相的變化及差異。PP 及 PU 在一期作水田耕種下，萌前除草劑 32%丁基拉草乳劑(butachlor，臺灣庵原農藥股份有限公司)在整地時以 1.6 a.i. L ha^{-1} 施用量一併施用，萌後除草劑 5.1%殺丹免速隆混合粒劑 (thiobencarb + bebsulfuron-methy，臺灣庵原農藥股份有限公司)於第一次追肥時期施用 1.53 kg a.i. ha^{-1}。PP 之二期作水田耕種施用的除草劑，與一期作水田耕種相同；PU 在二期作種植旱作落花生，乃於整地時施用萌前除草劑 34%施得圃乳劑(pendimethalin，安旺特有限公司) 0.68 a.i. L ha^{-1} 及 45.1%拉草乳劑(alchlor，安旺特有限公司) 0.902 L a.i. ha^{-1}，再於播種後 18 d 和 57 d 分別施用相同的 3 種萌後除草劑，係將 44.1%本達隆溶液(bentazon，臺聯實業股份有限公司) 0.441 L a.i. ha^{-1}、34%施得圃乳劑(pendimethalin，安旺特有限公司) 0.85 L a.i. ha^{-1} 及 5%快伏草乳劑(quizalofop-ethyl，臺灣日產化工股份有限公司) 0.05 L a.i. ha^{-1} 混合後噴施田間。

試區雜草種類與數量的調查，係自每一農耕生態系的重複小區中逢機取樣 4 點，每點面積 1 m^2，先計算各重複小區 4 點的平均值，再計算各農耕生態系全部小區的均值作為代表值。各農耕生態系的試區，皆於收獲前數日進行取樣調查，先將 1 m^2 面積內的所有雜草樣本拔取攜回研究室，經過清洗、分類後記錄雜草的科屬別、物種別，量測植株數量後得到密度(pl m^{-2})。續稱取其等鮮重，又經 80℃烘乾 72-96 h 後稱取乾重。試驗資料之統計分析採用 SAS 軟體(version 9.1, SAS Institute)，繪圖軟體則採用 Sigmaplot (version 8.0, SPSS ASC BV, The Netherlands)。除了各農耕生態系的均值，亦計算其機差(或稱標準誤，standard error; SE)及雜草出現百分比(%)，後者係指每一農耕生態系中該雜草科別或種別出現之百分比，公式如下列：

雜草出現百分比=

$$\frac{\text{該雜草科別或種別之株數}}{\text{該農耕生態系中所有雜草科別或種別之株數總和}} \times 100\%$$

結果與討論

為瞭解雙期作水稻之 PP 農耕生態系及水旱田輪作之 PU 農耕生態系兩大作物生態系之雜草相變化，於 2010 年的兩個期作進行雜草的取樣調查。本研究設計造成雜草差異的二大主因為(1)水田連作 PP 與水旱田輪作 PU 及(2)高施肥量 CC 與低施肥量 LC，而除草劑施用並無劑量差別(Table 1 及 Table 2)。一期作水稻栽植區高肥量的 CC 之雜草密度平均為 6 pl m^{-2} (PP 1.8 pl m^{-2} 加上 PU 9.9 pl m^{-2})，低肥的 LC 則約為 4 pl m^{-2}，而 CC 之科別數 10 科稍多於 LC 之 9 科(Table 3)。二期作的雜草密度，PP 農耕生態系(CC 的雜草密度為 29.1 pl m^{-2}，LC 為 24.6 pl m^{-2})遠大於 PU 農耕生態系(CC 的 5.9 pl m^{-2} 與 LC 的 9.8 pl m^{-2})，惟僅 PP 之 CC 多於 LC。二期作的雜草科別數，PP-CC 與 PP-LC 分別為 13 科與 10 科，PU-CC 與 PU-LC 均為 13 科。顯示四種農耕生態系的二期作田區的雜草科

Table 3. The weed family distribution and its density in vary cropping systems in the first and the second cropping seasons of 2010.

Family	First Crop[z]				Second Crop				
	PP		PU		PP		PU		
	CC[y]	LC	CC	LC	CC	LC	CC	LC	Mean
	---- pl m^{-2} (%) ----								
Amaeanthaceae	1.0 (7.9)	0.4 (2.0)	0.3 (0.3)	0.1 (0.3)	0.4 (0.1)	0.8 (0.3)	0.1 (0.2)	1.1 (0.9)	0.5
Chenopodiaceae							0.1 (0.1)	0.1 (0.1)	< 0.1
Cruciferae			1.3 (1.4)		58.1 (15.4)	8.9 (3.6)	2.3 (3.0)	2.5 (1.9)	9.1
Compositae	0.1 (1.0)		34.8 (35.3)	5.2 (17.3)	1.1 (0.3)	0.5 (0.2)	55.7 (72.9)	67.9 (53.3)	20.7
Commelinaceae				0.2 (0.6)					< 0.1
Convolvulaceae					0.1 (< 0.1)		0.9 (1.2)	2.4 (1.9)	0.4
Cyperaceae	0.2 (1.5)	0.5 (2.3)	11.2 (11.3)	8.3 (27.7)	59.6 (15.8)	47.1 (19.1)	6.0 (7.8)	7.5 (5.9)	17.5
Gramineae	2.1 (16.8)	0.8 (3.7)	1.4 (1.4)	1.0 (3.4)	2.6 (0.7)	0.8 (0.3)	1.0 (1.3)	0.2 (0.1)	1.2
Leguminosae	0.1 (0.5)		0.3 (0.3)	0.3 (0.8)					0.1
Lythraceae	8.3 (65.4)	18.6 (84.6)	18.2 (18.4)	9.8 (32.7)	49.0 (13)	85.5 (34.8)	0.3 (0.4)	4.5 (3.5)	24.3
Onagraceae)			0.1 (0.1)		4.3 (1.1)	4.2 (1.7)	0.4 (0.6)	4.1 (3.2)	1.6
Polygonaceae							0.6 (0.7)	5.0 (3.9)	0.7
Pontederiaceae					0.1 (< 0.1)				< 0.1
Rubiaceae					3.0 (0.8)	2.0 (0.8)	0.1 (0.1)	1.4 (1.1)	0.8
Scrophulariaceae	0.9 (6.9)	1.6 (7.4)	22.7 (23.0)	3.5 (11.7)	176.8 (46.8)	96.0 (39.0)	4.2 (5.5)	24.5 (19.3)	41.3
Solanaceae			8.5 (8.6)	1.7 (5.6)	0.3 (0.1)	0.3 (0.1)	4.9 (6.4)	6.1 (4.8)	2.7
Unknown					22.3 (5. 9)				2.8
Mean	1.8	4.4	9.9	3.3	29.1	24.6	5.9	9.8	

[z] the crop species planted in both PP (paddy-paddy agro-ecosystem) and PU (paddy-upland rotation agro-ecosystems) in First Crop is rice; whereas, it is rice for PP and peanut for PU in Second Crop.

[y] CC: conventional cropping system; LC: low-input cropping system.

別數及雜草密度多於一期作田區。此外，水田連作的雜草密度高於水旱田輪作，而科別數則相當。施肥量雖有高低，惟在作季結束前的雜草調查未見明顯雜草密度差異，然氮肥對植物生長所產生之促進效果可能影響雜草種類的改變(Di Tomaso 1995)。本研究結果顯示，田區的環境狀況與作物種類的更迭似為影響雜草相與密度變化的主要效應，兩者之間又有交感存在(Andersson and Milberg 1998, Swanton *et al.* 1999)。

由 Table 3 之統計，2010 年的雜草相共可發生 17 科的雜草，然而 4 種農耕生態系分布的雜草科別數與種別數各有不同(Fig. 2)。無論係雜草科別數或種別數，概以一期作少於二期作，其原因可能由於二期作生育前期的環境溫度相對較高，而有較多的雜草科別數與種別數(Hsiao *et al.* 2011)。其次，二期作之 PU 農耕生態系栽種旱作落花生，由於旱田與水田環境差異甚大，原先水田狀態休眠之旱作雜草，將在旱田中陸續萌芽，因此 PU 之雜草種類多於 PP 者(Chiang *et al.* 2003, Kuo 2004)。以發生科別而言，莧科(Amaeanthaceae)、莎草科(Cyperaceae)、禾本科(Gramineae)、千屈菜科(Lythraceae)及玄參科(Scrophulariaceae)等雜草一、二期作均可見，且普遍發生於四種農耕生態系田區。此 4 科雜草在本試區(溪口農場)的分布較傳統水田優勢雜草禾本科為強(Chiang and Leu 1982)，其原因究竟係環境、除草劑施用類型或其他因素，仍須進一步探討。從綜合所有田區之年度發生密度來看，玄參科、千屈菜科、菊科(Compositae)及莎草科等雜草發生最多，合計達 41.3、24.3、20.7 及 17.5 pl m^{-2} (Table 3)。

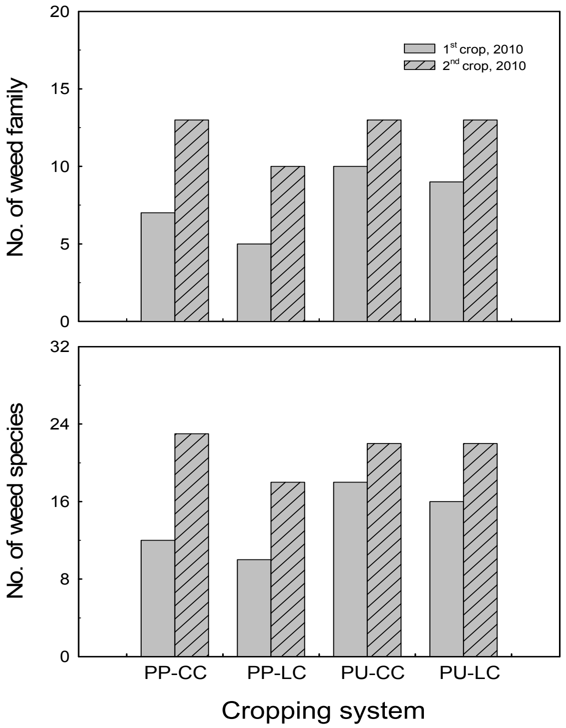

Fig. 2. Differences in numbers of weed family and weed species in vary cropping systems in the first and the second cropping seasons of 2010. PP: paddy-paddy agro-ecosystem; PU: paddy-upland rotation agro-ecosystem; CC: conventional cropping season; and LC: low-input cropping system.

在各農耕生態系田區的雜草生質量(鮮重及乾重)方面，大致以二期作大於一期作者，且具有高肥 CC 田區稍高於低肥 LC 田區、二期作的 PU 農耕生態系略高於 PP 農耕生態系之趨勢(Table 4)，本研究未來將以多年期資料予確認。PU 二期旱作落花生在生長初期的競爭力相較雜草為弱，其生質量增加速率不如雜草，若未於播種後 3-8 週內有效控制，將使得田區雜草叢生且不利於生育中後期之生育與果莢產量(Chen and Chen 2005, Everman *et al.* 2008)。因此，針對旱作物田區的雜草管理，尤其對於無性繁殖能力強的禾本科雜草，必須施用合適的萌後除草劑來防除，而本研究選用之萌後除草劑 5% quizalofop-ethyl 即為農委會出版『植物保護手冊』中防除落花生田區禾本科雜草[如牛筋草(*Eleusine indica*)、芒稷(*Echinochloa colona*)及馬唐(*Digitaria sanguinalis*)]的藥劑(Chen and Chen 2005)。關於雜草管理效果對田間作物生產的影響，亦將是未來研究項目之一。

田區內對農作物造成直接危害且競爭性強的雜草，主要來自於部分強勢雜草，這些雜草有較高密度的族群，其餘大多數雜草種類皆以低密度存在，也構成農地的多樣性與生態穩定性(Chiang and Chiang 2010)。本研究整理出試驗的四種農耕生態系田區分布之前 4 名優勢雜草科別(Fig. 3)，一期作 PP 及 PU 皆栽植水稻，因此雜草相相近，其中以千屈菜科雜草所占密度最高(13-85%)。此科雜草多為耐濕性或水生植物，因此適合在水田、輪作田或溝渠等濕地環境生長(Chiag and Chiang 2006, Lin 2009)，在一、二期作的水田環境下普遍存在。另玄參科雜草發生頻率亦甚高，一期作 7-23%，二期作 5-47%，特別是二期作 PP 農耕生態系的 CC 與 LC 分別有 47 及 39%分布，即使二期作 PU 農耕生態系亦有 5%，顯示從水田到旱地環境皆見其蹤跡(Chiag and Chiang 2006)。

本試驗二期作 PU 農耕生態系種植旱作落花生，各科雜草在 PU-CC 試區的密度排列依序為菊科 > 莎草科 > 茄科(Solanaceae) > 玄參科，在 PU-LC 試區的密度排列則為及菊科 > 玄參科 > 莎草科 > 茄科，皆以菊科的 73%及 53%為最高(Fig. 3)。以往禾本科被認為係落花生田區最主要雜草之一(Chen and Chen 2005)，或許由於長期大量使用針對禾本科雜草的萌後除草劑，促使落花生田區禾本科雜草大幅降低(Chen and Chen 2005)。本試驗發現，菊科雜草已成為本試區二期作 PU 農耕生態系的最優勢草種，即使在一期作的 PU-CC 亦有 35%分布，未來將持續予追蹤瞭解。

進一步分析密度最高的前 5 種雜草(Table 5)，PP 農耕生態系因為經常處於水田狀態，發生較多的草類多以水生或耐濕性的雜草為主(Chiang *et al.* 2003)，其中一期作以水莧菜(*Ammannia baccifera*)最多(達 16.2 pl m^{-2})，其次為芒稷、母草(*Lindernia procumbens*)、多花水莧及滿天星；二期作則以母草、水莧菜、小葉碎米薺(*Cardanmine flexuosa*)、碎米莎草(*Cyperus iria*)及泥花草(*Lindernia antipoda*)較多。PU 農耕生態系在一期作的水田狀態下，以水莧菜、鱧腸(*Eclipta prostrata*)、霍香薊(*Ageratum conyzoides*)、泥花草及母草較多；在二期作旱田狀態下，則以霍香薊、鱧腸、泥花草、香附子及燈籠草(*Physalis angulata*)較多。整體來說，亦因二期作環境有較高溫度，各農耕生態系之前 5 種雜草密度皆高於一期作者，尤其以 PP-CC 及 PP-LC 田區的母草密度最高，分別有 125.6 及 88.2 pl m^{-2}。值得注意的是，或許因為淹水不深之故，二期作 PP 農耕生態系在水稻收穫的草相調查期間，已出現冬生型雜草小葉碎米薺，此為土壤中已存有之種子，在微濕或淹水不深的狀態下發生。而二期作的 PU 農耕生態系則多為旱生型雜草，尤以霍香薊(34.9 pl m^{-2})及鱧腸(36.4 pl m^{-2})為田區優勢雜草，一如其他旱作農地(Chen and Chen 2005)。綜觀全年資料，其中水莧菜、母草、霍香薊、鱧腸、香附子、泥花草等在田區中

Table 4. The weed family distribution and its fresh weight (FW) and dry weight (DW) in vary cropping systems in the first and the second cropping seasons of 2010.

Family		First Crop[z]				Second Crop				
		PP		PU		PP		PU		
		CC[y]	LC	CC	LC	CC	LC	CC	LC	Mean
		g m^{-2} (%)								
Amaeanthaceae	FW[z]	1.2(12.2)	0.2(5.8)	0.1(0.2)	< 0.1(0.1)	0.1(0.4)	0.1(0.4)	0.2(0.2)	1.6(1.2)	0.4
	DW	0.2(8.4)	< 0.1(4.1)	< 0.1(0.2)	< 0.1(<0.1)	< 0.1(0.8)	< 0.1(0.4)	< 0.1(< 0.1)	0.2(1.2)	0.1
Chenopodiaceae	FW							< 0.1(< 0.1)	< 0.1(< 0.1)	< 0.1
	DW							< 0.1(< 0.1)	< 0.1(< 0.1)	< 0.1
Cruciferae	FW			0.1(0.2)		0.5(1.8)	0.1(0.7)	3.0(2.9)	2.2(1.6)	0.7
	DW			< 0.1(0.3)		0.1(2.5)	< 0.1(0.8)	0.3(2.8)	0.3(1.4)	0.1
Compositae	FW	< 0.1(0.4)		28.7(57.3)	9.3(36.5)	0.1(0.5)	0.1(0.4)	66.8(65.2)	94.4(70.3)	24.9
	DW	< 0.1(0.2)		3.3(52.6)	1.2(27.2)	< 0.1(0.7)	< 0.1(0.3)	8.2(66.9)	14.5(72.7)	3.4
Commelinaceae	FW				0.14(0.54)					< 0.1
	DW				< 0.1(0.4)					< 0.1
Convolvulaceae	FW					0.1(0.3)		3.0(2.9)	3.9(2.9)	0.9
	DW					< 0.1(0.7)		0.6(4.5)	0.6(3.2)	0.2
Cyperaceae	FW	0.4(3.7)	0.4(10.6)	5.7(11.4)	6.1(24.0)	5.0(18.6)	6.5(34.9)	2.8(2.7)	4.0(2.9)	3.8
	DW	0.1(3.3)	0.1(8.8)	1.2(18.7)	1.4(31.8)	0.7(25.1)	1.4(41.2)	0.63(5.2)	1.1(5.3)	0.8
Gramineae	FW	4.6(46.2)	1.3(37.4)	1.6(3.3)	3.4(13.2)	0.2(0.8)	0.1(0.8)	0.70(0.7)	0.1(0.1)	1.5
	DW	1.1(58.4)	0.4(47.0)	0.3(3.9)	0.9(19.5)	< 0.1(1.4)	< 0.1(1.1)	0.2(1.2)	< 0.1(0.1)	0.3
Leguminosae	FW	0.3(3.3)		< 0.1(0.1)	< 0.1(0.1)					< 0.1
	DW	< 0.1(2.3)		< 0.1(0.1)	< 0.1(0.1)					< 0.1
Lythraceae	FW	2.5(24.8)	1.2(33.7)	2.1(4.3)	4.8(18.8)	3.0(11.3)	5.1(27.8)	< 0.1(< 0.1)	0.8(0.6)	2.4
	DW	0.4(20.6)	0.3(32.8)	0.3(4.5)	0.742(16.4)	0.4(15.5)	0.9(28.0)	< 0.1(< 0.1)	0.1(0.6)	0.4
Onagraceae	FW			0.1(0.1)		0.3(1.1)	0.4(2.1)	0.2(0.2)	0.9(0.7)	0.2
	DW			< 0.1(0.5)		< 0.1(1.4)	0.1(1.7)	< 0.1(0.3)	0.2(0.9)	< 0.1
Polygonaceae	FW							0.1(0.1)	0.9(0.7)	0.1
	DW							< 0.1(0.1)	0.1(0.7)	< 0.1
Pontederiaceae	FW					< 0.1(<0.1)				< 0.1
	DW					< 0.1(<0.1)				< 0.1
Rubiaceae	FW					0.1(0.2)	< 0.1(0.2)	< 0.1(< 0.1)	0.1(0.1)	< 0.1
	DW					< 0.1(0.4)	< 0.1(0.3)	< 0.1(< 0.1)	< 0.1(0.2)	< 0.1
Scrophulariaceae	FW	0.9(9.4)	0.4(12.5)	7.4(14.8)	1.2(4.7)	16.0(59.7)	6.0(32.7)	0.7(0.7)	4.6(3.4)	4.7
	DW	0.1(6.9)	0.1(7.4)	0.9(14.5)	0.2(3.5)	1.3(46.7)	0.9(26.3)	0.1(0.9)	0.8(4.1)	0.5
Solanaceae	FW			4.2(8.4)	0.6(2.2)	0.1(0.2)	< 0.1(<0.1)	25.1(24.5)	20.9(15.6)	6.4
	DW			0.3(4.9)	0.1(1.1)	< 0.1(<0.1)	< 0.1(0.1)	2.2(18.0)	2.0(9.8)	0.6
Unknown	FW					1.4(5.2)				0.2
	DW					0.1(4.7)				< 0.1
Mean-FW		1.4	0.7	5.0	2.8	2.1	1.8	7.9	10.3	
Mean-DW		0.3	0.2	0.6	0.5	0.2	0.3	0.9	1.5	

[z] the crop species planted in both PP (paddy-paddy agro-ecosystem) and PU (paddy-upland rotation agro-ecosystems) in First Crop is rice; whereas, it is rice for PP and peanut for PU in Second Crop.

[y] CC: conventional cropping system; LC: low-input cropping system.

Table 5. The population densities of the top six ranking weed species in vary cropping systems in the first and the second cropping seasons of 2010.

Crop season	Ranking	Paddy-paddy agro-ecosystem (PP)						Paddy-upland rotation agro-ecosystem (PU)					
		CC[z]			LC			CC			LC		
		pl m^{-2} (%)											
First crop	1	*Ammannia baccifera*	6.8±12.8[y]	(53.5)	*Ammannia baccifera*	16.2 ± 12.50	(80.2)	*Ageratum conyzoides*	17.8 ± 25.6	(18.1)	*Cyperus rotundus*	6.7 ± 6.3	(22.3)
	2	*Echinochloa colona*	1.6±1.8	(12.9)	*Lindernia procumbens*	1.6 ± 3.25	(8.0)	*Ammannia baccifera*	17.2 ± 22.4	(17.4)	*Ammannia multiflora*	5.8 ± 6.8	(19.6)
	3	*Ammannia multiflora*	1.5±3.0	(11.9)	*Ammannia multiflora*	0.6 ± 1.25	(3.1)	*Eclipta prostrata*	17.0 ± 7.7	(17. 2)	*Eclipta prostrata*	5.1 ± 8.4	(17.0)
	4	*Alternanthera sessilis*	1.0±2.0	(7.9)	*Alternanthera sessilis*	0.4 ± 0.88	(2.2)	*Lindernia antipoda*	13.0 ± 11.6	(13.2)	*Ammannia baccifera*	3.9 ± 3.0	(13.1)
	5	*Lindernia procumbens*	0.9±1.8	(6.9)	*Echinochloa colona*	0.4 ± 0.48	(1.9)	*Lindernia procumbens*	9.5 ± 11.5	(9.6)	*Lindernia procumbens*	2.3 ± 3.1	(7.5)
	6	Others	0.9±1.8	(6.9)	Others	0.9 ± 1.48	(4.6)	Others	24.3 ± 20.1	(24.6)	Others	6.1 ± 9.2	(20.4)
Sum[x]			12.6			20.2			98.8			29.8	
Second crop	1	*Lindernia procumbens*	125.6±106.6	(33.3)	*Lindernia procumbens*	88.2 ± 87.7	(35.7)	*Ageratum conyzoides*	34.9 ± 8.4	(45.7)	*Eclipta prostrata*	36.4 ± 22.5	(28.6)
	2	*Cardanmine flexuosa*	56.7±97.1	(15.0)	*Ammannia baccifera*	79.2 ± 89.5	(32.2)	*Eclipta prostrata*	20.7 ± 17.7	(27.1)	*Ageratum conyzoides*	31.0 ± 19.1	(24.4)
	3	*Cyperus iria*	54.3±37.1	(14.4)	*Cyperus iria*	38.3 ± 30.8	(15.6)	*Cyperus rotundus*	5.3 ± 6.2	(6.9)	*Lindernia antipoda*	23.8 ± 13.1	(18.7)
	4	*Lindernia antipoda*	51.2±53.6	(13.6)	*Fimbristylis littoralis*	8.4 ± 11.8	(3.4)	*Physalis angulata*	4.9 ± 1.7	(6.4)	*Cyperus rotundus*	6.5 ± 0.4	(5.1)
	5	*Ammannia baccifera*	46.4±24.6	(12.3)	*Cardanmine flexuosa*	8.1 ± 10.6	(3.3)	*Lindernia antipoda*	4.0 ± 3.8	(5.2)	*Physalis angulata*	6.1 ± 6.5	(4.8)
	6	Others	43.4±68.7	(11.5)	Others	23.7 ± 31.6	(9.6)	Others	6.7 ± 7.2	(8.7)	Others	23.5 ± 20.2	(18.5)
Sum			377.6			245.9			76.4			127.4	

[z] CC: conventional cropping system; LC: low-input cropping system.

[y] mean ± SE (n=4).

[x] indicate total of weeds count.

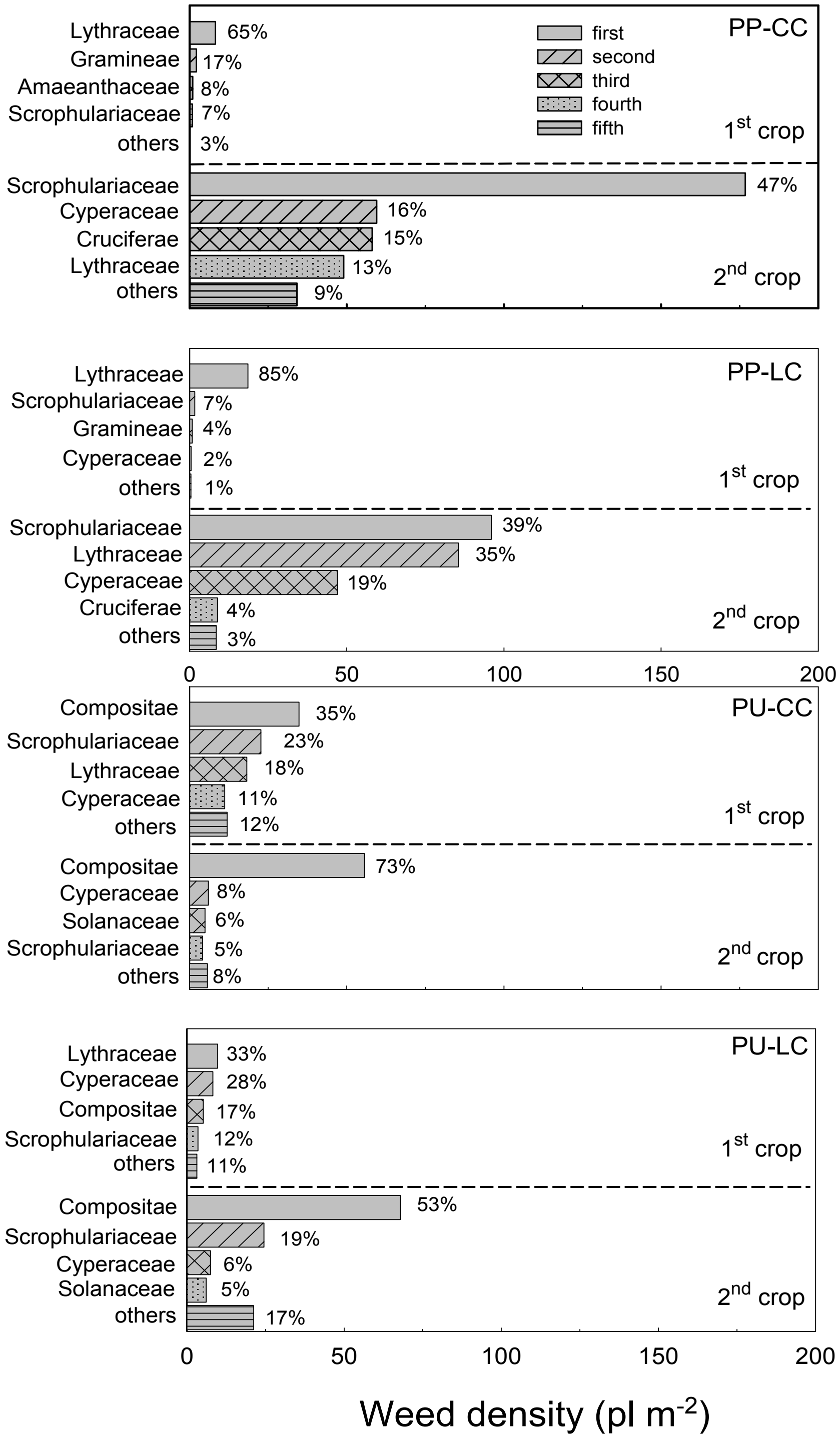

Fig. 3. The population densities and their percentages of the top five ranking weed families in vary cropping systems in the first and the second cropping seasons of 2010. PP: paddy-paddy agro-ecosystem; PU: paddy-upland rotation agro-ecosystem; CC: conventional cropping season; and LC: low-input cropping system.

可全年分布，除了香附子為多年生雜草外，目前群落組成趨向一年生雜草，而且闊葉雜草分布比例高於禾草及莎草等尖葉雜草。本試驗田區的雜草種類是否會因為肥料及除草劑的施用而改變發生頻率，一如 Chiang and Chiang (2006)報告所示，或因為水田連作及水旱田輪作而出現穩定或變動族群，尚待收集多年期資料予以釐清。

綜合本研究試驗結果，反映了不同的農耕系統(或稱農耕生態系)或甚至肥料施用等操作，可能形成田區雜草相的變化與差異。如經過長期的類似操作模式，或將構成雜草群落的過濾系統(Ryan *et al*. 2010)，產生特定種類的雜草相，使得特定雜草物種成為優勢草種。欲瞭解各種農耕生態系的雜草相變遷情形，必須透過長期的研究與調查，而這樣的長期研究才能提供動態的雜草資訊作為正確雜草管理的參考。本研究將持續針對本文所述四種農耕生態系的雜草相進行長期的追蹤探討，依照雜草相的變化與變遷提出適當的動態管理對策，以獲取符合生態保育的雜草管理方法，並以釐清各農耕生態系的操作措施對雜草相的影響機制。

誌謝

本研究係行政院農業委員會農業試驗所之「農業生態系長期生態研究與應用(99 農科-8.5.25-農 C1)」計畫一部分，針對雙期作水田農耕生態系及一期作水稻、二期作落花生水旱輪作農耕生態系的雜草相變化及其差異進行探討，謹對農業試驗所的支持及經費提供表示由衷感謝。

引用文獻

Andersson TN, P Milberg (1998) Weed flora and the relative importance of site, crop, crop rotation, and nitrogen levels Ann. Appl. Biol. 128:505-518.

Bill DA, SD Miller (1993) Cropping history, tillage and herbage effects on weed flora composition in irrigated corn. Agron. J. 85:817-821.

Booth BD, CJ Swanton (2002) Assembly theory applied to weed communities. Weed Sci. 50:2-13.

Chen FY, KH Chen (2005) Evaluation of graminicides for weed control in peanut field. Weed Sci Bull. ROC (in Chinese with English abstra) 26(1):43-52.

Chen CL, BH Chen, SN Huang, HB King, WC Sun, HY Guo, CC Chen, RH Lin, CC Young, ZS Chen (2009) Establishment and Perspectives of a long term ecological research in agricultural ecosystem in subtropics. Crop Environ. Bioninform. (in Chinese with English abstract) 6:233-246.

Chiang MY, LS Leu (1982) Weeds and weed damage of paddy field in Taiwan. Weed Sci. Bull. ROC (in Chinese with English abstract) 3:18-46.

Chiang MY, YJ Chiang, CI Yuan, LM Hsu, FY Chen (2003) Current status and prospects of weed management of croplands in Taiwan. (in Chinese with English abstract) p.245-258. *In*: Proceedings of 2003 International Conference on Plant Health Management. Agriculture Development Foundation, Taipei.

Chiang YJ, MJ Chiang (2006) Handbook on herbicides and farmland weed in Taiwan. Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Taichung Hsien, Taiwan. 259pp.

Chiang MY, YJ Chiang (2010) Potential impacts of climate change on agricultural land and environmental weeds in Taiwan. (in Chinese with English abstract) p. 99-116. *In*: Proceedings of the International Workshop on Climate Change and Food Crisis. Tainan District Agricultural Research and Extension Station, COA, Tainan Hsien, Taiwan.

Cheng SH (1997) The effect of rotation on soil of chemical and physical and weeds in the paddy field. (in Chinese) Bull. Hualien Dist. Agric.Res. Exp. Stn. 14:79-94.

Di Tomaso JM (1995) Approaches for improving crop competitiveness through the manipulation of fertilization strategies Weed Sci. 43:491-497.

Everman WJ, SB Clewis, WE Thomas, IC Burke,

JW Wilcut (2008) Critical period of weed interference in peanut. Weed Tech. 22:63-67.

Hong RT (1976) Investigation of weed flora on paddy fields in the Taichung district. Plant Prot. Bull. (in Chinese with English abstract) 18:268-275.

Ho, N.K., Itoh, K., 1991. Changes in weed flora and their distribution in the Muda area. Paper presented at the 8th MADA/TARC Quarterly Meeting, 3 November 1991, Alor Setar, Malaysia.

Hsiao C-L, C-M Yang, Y-J Lee (2011) Effect of planting date on population and weeds in the paddy field. (in Chinese with English abstract) J. Taiwan Agric. Res. 60: 139-148.

Kuo WH (2004) Seed ecology and weed management. (in Chinese with English abstract) Weed Sci. Bull. ROC 25:53-68.

Lin CC (2009) A Field Guide to Aquatic and Wetland Plants of Taiwan. Vol. 1. Commonwealth Publishing Co. Ltd., Taipei. 319pp.

Liu MC (2002) Development of herbicide resistance: herbicide resistant weeds and herbicide resistant crops. Weed Sci. Bull. 23:53-64.

Lègére A, FC Stevenson, N Ziadi (2008) Contrasting response of weed communities and crops to 12 year of tillage and treatments. Weed Tech. 22:309-317.

Liebman M, E Dyck (1993) Crop rotation and intercropping strategies for weed management. Ecol. Appl. 3:92-122.

Moody K (1996) Weed community dynamics in rice fields. p.27-36. *In*: Herbicides in Asian Rice: Transitions in Weed Management. R Naylor (Ed.) Institute for International Studies, Stanford University, Palo Alto, California and International Rice Research Institute, Manila, Philippines.

Pedigo LP (1995) Closing the gap between IPM theory and practice. J. Agric. Entomol. 12:171-181.

Ryan MR, RG Smith, SB Mirsky, DA Mortensen, R Seidel (2010) Management filters and species traits: Weed community assembly in long-term organic and conventional systems. Weed Sci. 58:265-277.

Sheu CS, JL Yang, FF Hou (2005) Transform and development of paddy herbicides in Taiwan. (in Chinese with English abstract) Weed Sci. Bull. ROC 26(1):1-14.

Smith RG, KL Gross (2006) Rapid change in the germinable fraction of the weed seed bank in crop rotations. Weed Sci. 54:1094-1100.

Swanton CJ, A Shrestha, RC Roy, SZ Knezevic (1999) Effect of tillage systems, N, and cover crop on the composition of weed flora. Weed Sci. 47: 454-461.

Tungate KD, DW Israel, DM Watson, TW Rufty (2007) Potential changes in weed competitiveness in an agroecological system with elevated temperatures. Environ. Exp. Bot. 60:42-49.

Van Gessel MJ (2001) Glyphosate-resistant horseweed from Delaware. Weed Sci. 49:703-705.

Yang C-M (1996) Weeds and weed management. (in Chinese with English abstract) Taiwan Agric. 32(6):89-100.

Yuan CI, YC Hsieh, MY Chiang (2005) Glyphosate-resistant goosegrass (*Eleusine indica*) in Taiwan: Dose-response and enzyme activity. (in Chinese with English abstract) Plant Prot. Bull. 47:143-154.

Zimdahl RL (2004) Weed-crop Competition: A review. 2nd ed. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA. 220pp.

－邀請編輯：蔣永正